

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

П.А. Кулагин

Международный институт рынка, г. Самара

Система имитационного моделирования, обеспечивающая создание моделей для решения экономических задач [1], должна обладать следующими свойствами:

- возможностью применения имитационных программ совместно со специальными экономико-математическими моделями и методами, основанными на теории управления экономическими процессами;
- инструментальными методами проведения структурного анализа сложного экономического процесса;
- способностью моделирования материальных, денежных и информационных процессов и потоков в рамках единой модели в общем модельном времени;
- возможностью введения режима постоянного уточнения при получении выходных данных и проведении экстремального эксперимента функционирования системы.

В настоящее время известно более 500 языков моделирования. Такое множество языков частично обусловлено разнообразием классов моделируемых систем, целей и методов моделирования. Архитектуру языка имитационного моделирования можно представить следующим образом:

- объекты моделирования описываются с помощью некоторых атрибутов языка;
- атрибуты взаимодействуют с процессами, адекватным реально протекающим явлениям в моделируемой системе;
- процессы требуют конкретных условий, определяющих логическую основу и последовательность взаимодействия этих процессов во времени; условия влияют на события, имеющие место внутри объекта моделирования и при взаимодействии с внешней средой;
- события изменяют состояние модели системы в пространстве и времени.

Желание упростить и ускорить процесс создания моделей (сделать доступным не только для профессиональных программистов) привело к реализации идеи автоматизации программирования имитационных моделей. Создан ряд систем моделирования, которые избавляют исследователя от программирования. Это наиболее перспективное направление развития средств имитационного моделирования.

Рассмотрим наиболее распространенные пакеты систем имитационного моделирования [2].

Пакет Process Charter-1.0.2 имеет «интеллектуальное» средство построения блок-схем моделей. Он ориентирован на парадигму дискретно-событийного моделирования. Имеет достоинства: удобный и простой в использовании механизм построения модели, он самый дешевый из известных продуктов, хорошо приспособлен для решения задач распределения ресурсов. Недостатки пакета: наименее мощный продукт, слабая поддержка моделирования непрерывных компонентов, ограниченный набор средств для анализа чувствительности и построения диаграмм.

Пакет Powersim-2.01 является хорошим средством создания непрерывных моделей. Имеет достоинства: множество встроенных функций, облегчающих построение моделей, многопользовательский режим для коллективной работы с моделью, имеются средства обработки массивов для упрощения создания моделей со сходными компонентами. Недостатки пакета: сложная специальная система обозначений System Dynamics, ограниченная поддержка дискретного моделирования.

Пакет Ithink-3.0.61 обеспечивает создание непрерывных и дискретных моделей. Имеет достоинства: встроенные блоки для облегчения создания различных видов моделей, поддержка авторского моделирования слабо подготовленными пользователями, подробная обучающая программа, развитые средства анализа чувствительности, поддержка множества форматов входных данных. Недостатки пакета: сложная система обозначений System Dynamics, поддержка малого числа функций по сравнению с Powersim-2.01.

Пакет Extend+BPR-3.1 (BPR - Business Process Reengineering) создан как средство анализа бизнес-процессов, использовался в NASA, поддерживает дискретное и непрерывное моделирование. Имеет достоинства: интуитивно понятная среда построения моделей с помощью блоков, множество встроенных блоков и функций для облегчения создания моделей, поддержка сторонними компаниями (особенно выпускающими приложения для «вертикальных» рынков), гибкие средства анализа чувствительности, средства создания дополнительных функций с помощью встроенного языка. Недостатки пакета: используется в полном объеме только на компьютерах типа Macintosh, имеет высокую стоимость.

Пакет ReThink обладает свойствами Extend+BPR-3.1 и в отличие от перечисленных пакетов имеет хороший графический транслятор для создания моделей. Работает под управлением экспертной оболочки G2. Имеет достоинства: все положительные свойства Extend+BPR-3.1 и общее поле данных с экспертной системой реального времени, создаваемой средствами G2.

Интегрированная среда моделирования и анализа ARIS Toolset фирмы IDS professor Scheer. Один из его компонентов - ARIS Simulation 5.0 - пакет имитационного моделирования. Область применения: переход к

процессному взгляду на функционирование предприятия. Основная задача компании – делать бизнес. Отсюда любой процесс внутри предприятия рассматривается с точки зрения влияния на бизнес – сколько приносит денег и сколько забирает. Реорганизация и постоянное улучшение процессов. В рейтинге Gardner Group система ARIS занимает лидирующее положение на рынке средств моделирования и анализа деловых процессов. Схема функционирования: визуальное представление принципов и условий функционирования различного рода компаний (модель бизнес процессов); анализ деятельности по различным показателям с целью определения идеальных характеристик деятельности компании; реорганизация организационной структуры, целей и функций, бизнес-процессов, используемых данных; определение требований к автоматизированной системе управления и проектирования.

Отличительные особенности системы ARIS.

1. Система ARIS в настоящее время уже успешно используется множеством известных компаний различного профиля как в России, Европе, так и по всему миру. Клиенты фирмы IDS могут быть найдены по всему миру, специалисты по работе с системой ARIS охотно принимаются на работу в крупные и средние организации различного профиля деятельности. Пять из шести крупнейших в мире консалтинговых фирм используют систему ARIS в своей деятельности.

2. Поддержка R/3 SAP. Если деятельность предприятия поддерживается системой управления предприятием R/3 фирмы SAP, то использование комплекса ARIS позволит постоянно поддерживать систему R/3 в актуальном состоянии, соответствующем существующим на предприятии бизнес-процессам. Подобного рода интеграция существует и с некоторыми другими системами управления предприятием.

3. Соответствие ISO 9000. Направленность данного продукта на управление качеством по стандарту ISO9000 позволит обеспечить деятельность предприятия на уровне, соответствующем общепринятым требованиям к организации процессов. Кроме того, данная система обеспечит поддержку процесса подготовки и непосредственной сертификации по данному стандарту. Для этого в системе предусмотрено создание специальных отчетов, отвечающих требованиям ISO9000, а также существуют модели, отражающие полную методологию процесса сертификации по стандарту ISO 9000 – анализ существующей системы управления на предприятии, реорганизация бизнес-процессов, обучение персонала и непосредственно сама сертификация.

Система Arena позволяет моделировать следующие виды деятельности, представленные в табл.1.

В Системе Arena 4.0 соединены следующие факторы: интерфейсные возможности среды Windows; присущая Arena легкость

иерархического построения модели и ее последовательного приближения к реальному объекту.

Табл.1 Наиболее часто моделируемые виды деятельности

авиация, космос	автомоблестроение
банки, финансы	дистрибуция
здравоохранение	издательство
переработка отходов	пищевая промышленность
портовые операции	поставки грузов
потребительские товары	правительственные организации
производство лекарственных препаратов	рестораны и сети быстрого питания
склады	сталелитейная промышленность
текстильная промышленность	телекоммуникации
транспорт, перевозки	тяжелая промышленность
электроника	химическое производство
управление цепочками логистики	

Архитектура базовой версии выглядит следующим образом.

1. Основа технологий Arena: язык моделирования SIMAN (альтернатива GPSS), система Cinema Animation.

2. Процесс моделирования организован следующим образом: сначала пользователь шаг за шагом строит в визуальном редакторе системы Arena модель, затем система генерирует по ней соответствующий код на SIMAN, в завершении автоматически запускается Cinema animation.

3. Обмен данными. Интерфейс Arena включает в себя всевозможные средства для работы с данными, в том числе электронные таблицы, базы данных, ODBC, OLE, поддержку формата DXF.

4. Система интерактивной помощи и библиотека демонстрационных примеров моделей.

Имитационная модель в Arena включает следующие основные элементы: источники и стоки (Create и Dispose), процессы (Process) (оборудование), очереди (Queue).

Система GPSS World, разработанная компанией Minuteman Software (США), – это мощная среда компьютерного моделирования общего назначения, разработанная для профессионалов в области моделирования. Это комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования, обладающий высочайшим уровнем интерактивности и визуального представления информации.

Использование GPSS World дает возможность оценить эффект конструкторских решений в чрезвычайно сложных системах реального мира. GPSS является объектно-ориентированным языком. Его возможности визуального представления информации позволяют наблюдать и фиксировать внутренние механизмы функционирования моделей. Его

интерактивность позволяет одновременно исследовать и управлять процессами моделирования. С помощью встроенных средств анализа данных можно легко вычислить доверительные интервалы и проводить дисперсионный анализ, автоматически создавать и выполнять сложные отсеивающие и оптимизирующие эксперименты. Система GPSS World была разработана, чтобы полностью использовать возможности вычислительной системы. Использование механизма виртуальной памяти позволяет моделям реально достигать размера миллиарда байт. Вытесняющая многозадачность и многопоточность обеспечивают высокую скорость реакции на управляющие воздействия и дают возможность GPSS World одновременно выполнять множество задач.

Функциональное назначение пакета Micro Saint - фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений в деятельности фирмы, т.е. в стоимости, качестве, сервисе и темпах развития. Пакет Micro Saint обладает большой мощностью, гибкостью, быстродействием. Micro Saint - гибкий дискретно-имитационный пакет программ для имитационного моделирования всех типов процессов. Используя Micro Saint можно смоделировать любой процесс, который может быть представлен блок-схемой.

Пакет Pilgrim обладает широким спектром возможностей имитации временной, пространственной и финансовой динамики моделируемых объектов. С его помощью можно создавать дискретно-непрерывные модели. Разрабатываемые модели имеют свойство коллективного управления процессом моделирования. В текст модели можно вставлять любые блоки с помощью стандартного языка C++. Различные версии этой системы работали на IBM-совместимых и DEC-совместимых компьютерах (аппаратная платформа x86), оснащенных операционными системами Windows или Linux. Пакет Pilgrim обладает свойством мобильности, т.е. переноса на любую другую платформу при наличии компилятора C++. Модели в системе Pilgrim компилируются и поэтому имеют высокое быстродействие, что очень важно для отработки управленческих решений и адаптивного выбора вариантов в сверхускоренном масштабе времени. Полученный после компиляции объектный код можно встраивать в разрабатываемые программные комплексы или передавать (продавать) заказчику, так как при эксплуатации моделей инструментальные средства пакета Pilgrim не используются. Система имеет сравнительно невысокую стоимость.

Перечисленные выше инструментальные средства имеют общее свойство: возможность графического конструирования модели. В процессе такой инженерной работы удастся связать в графическом представлении на одной графической схеме моделируемые процессы с управленческими

(административными) или конструктивными особенностями моделируемой системы.

В конце 1990-х гг. в России разработаны новые системы моделирования:

- пакет РДО (МГТУ им. Н.Э. Баумана);
- система СИМПАС (МГТУ им. Н.Э. Баумана);
- пятая версия Pilgrim (МЭСИ и несколько компьютерных фирм).

Пакет РДО (РДО Ресурсы-Действия-Операции) является мощной системой имитационного моделирования для создания производственных моделей. Обладает развитыми средствами компьютерной графики (вплоть до анимации). Применяется при моделировании сложных технологий и производств.

Система СИМПАС (СИМПАС - Система-Моделирования-на-Паскале) в качестве основного инструментального средства использует язык программирования Паскаль. Недостаток, связанный со сложностью моделирования на языке общего назначения, компенсируется специальными процедурами и функциями, введенными разработчиками этой системы. Проблемная ориентация системы - это моделирование информационных процессов, компьютеров сложной архитектуры и компьютерных сетей.

Пятая версия Pilgrim - это новый программный продукт, созданный в 2000 г. на объектно-ориентированной основе и учитывающий основные положительные свойства прежних версий. Достоинства этой системы:

- ориентация на совместное моделирование материальных, информационных и «денежных» процессов;
- наличие развитой CASE-оболочки, позволяющей конструировать многоуровневые модели в режиме структурного системного анализа;
- наличие интерфейсов с базами данных;
- возможность для конечного пользователя моделей непосредственно анализировать результаты благодаря формализованной технологии создания функциональных окон наблюдения за моделью с помощью Visual C++, Delphi или других средств;

возможность управления моделями непосредственно в процессе их выполнения с помощью специальных окон диалога.

Использование имитационных моделей рынка труда открывает новые возможности по концептуальному анализу проблем функционирования рынка труда, сокращению сроков разработки перспективных проектов биржи труда, организации ее эффективной работы.

Факторами выбора инструментальных средств моделирования являются следующие:

1. В какой форме будет описываться объект исследования: непрерывная, дискретная система или смешанный вариант. Проблемно-ориентированная среда (ARENA, ARIS) или универсальная система (GPSS)

На выбор той или иной системы влияет выполнение следующих условий: наличие практического опыта работы с конкретным инструментальным средством, в том числе и наличие обученного персонала. Все современные системы достаточно сложны (особенно в части средств организации эксперимента и анализа).

2. Стоимость лицензии и стоимость разработки. Их соотношение со средствами, выделенными на проект. Современные проблемно-ориентированные системы моделирования очень дороги по сравнению с просто языками моделирования.

3. Размерность создаваемой модели (несложный объект, учебные задачи и т.д.). Современные средства моделирования достаточно функциональны. Поэтому при небольшой размерности целесообразнее ориентироваться на более простую систему (GPSS/W), даже если она не очень вписывается в предметную область.

4. Предметная область объекта исследования. Возможность или ее отсутствие выбрать конкретную проблемно-ориентированную систему.

Внутренние факторы:

- виды возможных статистических испытаний. Хотя современные системы моделирования в этом отношении достаточно функциональны, тем не менее, специфика все-таки имеется. Поэтому, если исследуемая система требует разнообразных средств анализа и испытаний необходимо учитывать этот фактор при выборе конкретной системы моделирования;

- степень трудности изменения структуры модели. Если структура моделируемой системы неочевидна или подтверждена изменениям (новый объект, предпроектное обследование), то этот фактор, безусловно, является очень важным;

- способ организации учета времени и происходящих действий.

Регламентация событий и процессов имеет 2 аспекта: «продвижение» времени, т.е. корректирование временной координаты состояния системы; обеспечение согласованности различных блоков и событий в системе. Поскольку действия, выполняемые отдельными блоками, зависят от действий и состояния других элементов, они должны быть скоординированы во времени, или «синхронизированы».

Существуют два основных метода задания времени:

- с помощью фиксированных интервалов времени. Отсчет системного времени ведется через заранее определенные интервалы постоянной длины (модели с непрерывным изменением состояния).

- с помощью переменных интервалов времени. Состояние моделируемой системы обновляется с появлением каждого существенного события независимо от интервала времени между ними (время событий). (модели с дискретным изменением состояния).

Каждый из методов имеет свои преимущества: последовательная обработка событий и обработка событий пакетами или группами. Модели с фиксированным шагом проще реализуются, но существует риск неправильного выбора интервала времени (слишком большой) и, соответственно, потеря точности модели.

Метод фиксированных шагов:

события появляются регулярно и распределены во времени равномерно. В течение цикла моделирования  $T$  появляется очень много событий, причем математическое ожидание продолжительности событий невелико. Точная природа существенных событий не ясна. Например, на начальном этапе имитационного исследования. Метод переменных интервалов времени позволяет существенно экономить машинное время моделирования в случае статических систем, в которых существенные события могут длительное время не наступать. Не требует определения величины времени приращения. Может эффективно использоваться при неравномерном распределении событий во времени и (или) большой величине математического ожидания их продолжительности.

Существует два направления развития инструментальных средств [3]. Первое из них представляют языки имитационного моделирования. Эти языки по сравнению с универсальными языками программирования снижают трудоемкость написания моделирующих программ, включают специализированные процедуры, которые могут применяться в любой имитационной модели, и отличаются точностью выражения понятий, характеризующих имитируемые процессы, и автоматическим формированием определенных типов данных, необходимых в процессе имитационного моделирования.

Процесс последовательной разработки имитационной модели начинается с создания простой модели, которая затем постепенно усложняется в соответствии с предъявляемыми решаемой проблемой требованиями. В каждом цикле создания программной модели можно выделить следующие этапы:

Формулирование проблемы: описание исследуемой проблемы, установление границ и ограничений моделируемой системы, определение целей исследования.

Разработка модели: переход от реальной системы к некоторой логической схеме (абстрагирование).

Подготовка данных: отбор данных, необходимых для построения модели, и представление их в соответствующей форме.

Трансляция модели: описание модели на языке имитационного моделирования.

**Оценка адекватности:** повышение до приемлемого уровня степени уверенности, с которой можно судить относительно корректности выводов о реальной системе, полученных на основании обращения к модели.

**Планирование:** определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью.

**Экспериментирование:** многократный прогон имитационной модели на компьютере для получения требуемой информации.

**Анализ результатов:** изучение результатов имитационного эксперимента для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы.

**Реализация и документирование:** реализация рекомендаций, полученных на основе имитации, и составление документации по модели и ее использованию.

Таким образом, языки имитационного моделирования позволяют за сравнительно короткий срок составлять программные модели довольно сложных систем. К сожалению, такие модели обладают низкой способностью отвечать на вопросы типа "а что, если ...", поскольку это именно те вопросы, которые наиболее полезны, так как они способствуют более глубокому пониманию проблемы и поиску лучших способов оценки возможных действий. Для ответа на подобные вопросы часто приходится непосредственно изменять программный код модели, что повышает затраты времени на анализ системы. При использовании языков имитационного моделирования возникает также другая проблема: затраты на изучение и освоение языка, тем более, что эти языки оперируют абстрактными понятиями, в то время как экспериментатор часто является специалистом в той области, которой принадлежит моделируемая система, и применяет специфическую терминологию, что может значительно осложнить освоение языка исследователем.

В настоящее время языки имитационного моделирования получили дальнейшее развитие в виде визуальных средств моделирования, где исследователь оперирует не командами и операторами языка, а объектами, представляемыми в графическом виде. Визуальные средства моделирования частично снимают проблемы языков имитационного моделирования, описанные чуть выше, но в то же время основные из них остаются, например, освоение исследователем абстрактных терминов, используемых в этих средствах.

#### **Список использованных источников**

1. Маклаков С.В., Моделирование бизнес-процессов с BP-win 4.0 - М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002.-224с.

2. Томашевский В.Н., Жданова Е.Г. Основы имитационного моделирования в среде GPSS.- М.: Машиностроение. 2003.-416с.

## ВОЗБУЖДЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ЩЕЛЕВОЙ АНТЕННОЙ

О.Ш. Даутов, И. Салем

Казанский национальный исследовательский технический университет,  
г. Казань

В данной работе предпринята попытка построения методики расчета с учётом конечной ширины щелевого элемента, что позволяет рассмотреть поле в окрестности щели в виде суперпозиции невозмущенного поля, распространяющегося от щели, и отраженного от внешней границы поля, набегающего на щель, что позволяет избежать бесконечных значений полей и получить оценки коэффициента отражения и дает возможность расчета сопротивлений излучения различных щелевых антенн, как элементов СВЧ систем. В соответствии с вышесказанным полное поле внутри слоя представляется в виде суперпозиции первичного возбуждающего поля и поля рассеянного внутрь слоя от внешней границы:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_r, \quad (1)$$

где первичное поле, создаваемое щелевым элементом имеет следующее представление

$$\vec{E}_0(\vec{r}) = \frac{E_0 I_s h_s}{8\pi^2} \int \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[\vec{\omega}_0, \vec{a}]}{\omega_s} e^{-i\omega_s [(\vec{\omega}_0, \vec{r})]} e^{i\omega_s [(\vec{\omega}_0, \vec{z}_0)]} \text{sinc}\left(\frac{(\vec{\omega}_0, \vec{a})}{2}\right) \text{sinc}\left(\frac{(\vec{z}_0, \vec{a})}{2}\right) d\omega_x d\omega_y, \quad (2)$$

которое получается из известного разложения скалярной функции Грина в двумерный интеграл Фурье, полученное Вейлем. Здесь  $\vec{a} = \vec{x}_0 a_x + \vec{y}_0 a_y$  - единичный вектор, задающий ориентацию элемента щели на плоскости экрана,  $\vec{r} = \vec{x}_0 x + \vec{y}_0 y + \vec{z}_0 z$  - радиус-вектор точки наблюдения,  $(\vec{x}_0, \vec{y}_0, \vec{z}_0)$  - орты декартовой системы координат),  $\vec{r}_d$  - радиус вектор центра щели,  $\vec{r}_s = \vec{r}_d + \vec{a}x'_s + [\vec{z}_0, \vec{a}]y'_s$ ,  $\omega_s = -i\sqrt{\omega_1^2 - K^2}$ ,  $\omega_1 = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}$ .

### • Отраженное поле